13 Cr ステンレス鋼のオーステナイト化状態および 変態挙動におよぼす炭化物溶解の意義*

中 沢 一 雄**

Kazuo Nakazawa: Effect of Carbide Dissolution on the Austenitization and the Behavior in Transformation of 13 Cr Stainless Steel. On three samples of 13 Cr stainless steel containing 13 % of chromium and 0.09 %, 0.17 % and 0.26 % of carbon, the effect of austenitizing temperature on the Ms and Mf points and on the microstructure has been investigated and the TTT-diagrams have been established at the different austenitizing temperatures for 10 minutes in order to investigate the correlation between the austenitization and the behavior in transformation. The Ms and Mf points were measured by the dilatometric method and the process of isothermal transformation was examined by the use of hardness and microscopic tests. The Ms and Mf points become evidently lowered by dissolution of the carbide. In the pearlite transformation, the higher the austenitizing temperature rises, the longer grows the incubation period and the slower the transforming rate. Comparison of the Ms and Mf points and the TTT-diagrams of the three samples revealed the difference coming from the influence of their chemical compositions on the transformation process. These results may illustrate the dependence of the behavior in transformation mainly on the concentrations of carbon and chromium.

(Received July 19, 1961)

I. 緒 言

当実験は炭素量異なる3つの実用13 Cr ステンレス鋼につき、その変態点以上への加熱に際して焼入温度、または最高加熱温度の影響に関連した事項として、炭化物およびフェライトのオーステナイト中への溶解状況、およびオーステナイト化状態の変化を検討し、そしてそれらの違いがマルテンサイト変態および恒温変態の経過にどのように反映するかを調査したもので、炭化物などの異相溶解に基づくオーステナイトの組成変化に対応して、溶解成分元素の変態挙動におよぼす影響をチェックするとともに、この鋼の熱処理に関する事項について一つの認識を得るために行った実験である。

II. 実 験 方 法

試料として、その化学組成は Table 1 の如き実用13 Cr ステンレス鋼一種 (SUS 1)、二種 (SUS 2)、三種 (SUS 3) の

Table 1 Chemical composition of steels, %.

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
SUS 1	0.09	0.14	0.18	0.026	0.007	13.74	0.42	0.0206
SUS 2	0.17	0.46	0.74	0.028	0.007	13.29	0.06	0.0177
SUS 3	0.26	0.57	0.63	0.024	0.018	12.97	0.14	0.0272

庄延棒材を用いた焼鈍材より検鏡、硬度試験用として10 mmφ×3 mmの小試片および5 mmφ×80 mmの熱膨張計

用試片を切りとつた。変態点以上の各オーステナイト化温度への加熱はすべて加熱速度15°C/min、10 min間保持とした、酸化防止のため試料に佐藤氏塗料⁽¹⁾⁽²⁾を塗布して大気中にて加熱した。マルテンサイト変態の経過は拡大率2600倍の熱膨張計にて測定した、すなわち試片をオーステナイト化加熱後450°Cの鉛浴中に投中し、後これを予め同温度に保つてある熱膨張計に早く取りつけ、オーステナイト安定領域からマルテンサイト変態領域を徐冷して測定した。TTT-曲線は硬度試験 (ビッカース, 30 kg) と検鏡によつて決定した。

III. 実 験 結 果 お よ び 考 察

1. 温度によるオーステナイト化状態の変化

従来出されているFe-Cr-C系状態図⁽³⁾を基準として、大体推定した13 % Crの切断図は Fig. 1 の如くである。実験的に得られた各変態点は Table 2 の如くであつて、Ac₁領域については大体 Fig. 1 と一致するがAc₁以上においてはAc₃およびAc_cはいづれも高く出る上に、この間共存相の存在状況についても異なるものがあり、平衡状態図の表現からはかけ離れたものであつた。

Photo. 1 は各試料を各温度に加熱後水冷したもののついでの顕微鏡組織の一例である。SUS 1 ではAc₁点直上の温度において、 γ と40~50 %のフェライトと微粒の炭化物の三つが存在する、温度の上昇とともに一部のフェライ

** 岩手大学工学部金属工学科 (Department of Metallurgy, Faculty of Engineering Iwate University, Morioka)

* 1959年4月本会東京大会に発表

(1) 佐藤: 金属の研究, 2(1925), 63.

(2) 近藤: 本誌, 7(1943), 193.

(3) 村上: 金属の研究, 8(1931), 341.

トと炭化物が γ 中に溶け込み、1030°C以上において均等な γ の地と約30%のフェライトが共存する。フェライト

Fig. 1 13% Cr sectional diagram, inferred approximately from the previous data in reference to the Fe-Cr-C diagram. SUS 2では Ac_1 点以上において、SUS 1と同様 γ とともにフェ

ライトと炭化物が存在するが、温度の上昇とともに両者は γ 中に溶

Table 2 Transformation points decided experimentally for the steels used.

Mark	Ar_1	Ac_1	Ac_3 or Ac_c (about)
SUS 1	675'~730'	820'~875'	(1030'-10 min)
SUS 2	675'~760'	830'~895'	1040'-10 min
SUS 3	665'~730'	805'~860'	1050'-10 min

Photo. 1 Microstructures of steels SUS 1, SUS 2 and SUS 3 after water cooling from the various austenitizing temperatures for 10 minutes, with microhardness indentations. Curran's reagent. ($\times 390$)

解し、約1040°Cで全部溶け込み γ 1相となる。SUS 3においては Ac_1 点以上で γ と炭化物の2相が存在し、温度の上昇とともに炭化物が溶解し、約1050°Cで γ 1相になる。当鋼の炭化物は ϵ 相と呼ばれるCrの特殊炭化物である。

Fig. 2は上記の検鏡試料につき、組織成分別の微小硬度を測定し、遊離フェライトと区別してマルテンサイト基地

Fig. 2 Microhardness of microconstituents of steels SUS 1, SUS 2 and SUS 3 after water cooling from various austenitizing temperatures for 10 minutes.

の硬度変化を見たものである。SUS 1については遊離フェライトの硬度も測定した、硬度値は5~10回の平均をとった。

Fig. 3は各加熱温度に対するオーステナイト粒度、 M_s および M_f 点の変化を示すものである。 M_s , M_f 点の変化は炭化物またはフェライトの溶解によるオーステナイト中の

C, Cr 量の変化を反映しているものと思われる。ここで炭化物の溶解はC, Crの濃度の増大をもたらし、フェライトの溶解はC濃度を低めるがCr濃度を増すものと考えられる。SUS 2, SUS 3の1100°C-10 minの場合にはともに未溶解異相はなく、均一 γ になっており、両者間にはC含有量の違いがあるだけである。この場合の両者の M_s 値の差異から算出すると、Cr 13%の場合として、C 0.1%の増加は M_s 点を75

°C降下させることになる、PaysonおよびSavage⁽⁴⁾によると、C 0.5%一定の場合にはCr 1%の増加は M_s 点を28°C降下させる。

(4) P. Payson and C.H. Savage : Trans. ASM, 33 (1944), 261.

Ms 点は熱膨張曲線の極小点, また Mf 点は極大点について決定したものであるが, 各曲線の経過を比較して見る

Fig.3 Effect of austenitizing temperature on the austenite grain size and the Ms and Mf points in steels SUS 1, SUS 2 and SUS 3. Austenitizing time is each 10 minutes.

Fig.4 Dilatation curves of steel SUS 2 during martensite transformation.

と, その形状に幾らかの違いが出ている。一例として Fig. 4 は SUS 2 についての曲線を比較したものである。オーステナイト中に炭化物の溶解が進行中と思われる段階においては, 極小点より低温側に, また低炭素部分が存在すると思われる段階においては, 極小点の右側にそれぞれ多少の

凹凸が出て来る。これらの曲線形状の変化はオーステナイト中の溶解成分濃度の均一性と関係があるものと考えられ

Fig.5 Dilatation curves of steels SUS 2 and SUS 3 during martensite transformation.

ている(5)(6)。

Fig.5 は SUS 2 の 1100°C-10 min, SUS 3 の 950°C-10

Fig.6 Distribution of microhardness values of martensitic structure as measured for the dilatometer specimens after measurement of dilatation change in Fig.5.

(5) A. Rose und L. Rademacher: Stahl u. Eisen, 77 (1957), 409.

(6) F. Wever: 鉄と鋼, 45 (1959), 136.

min オーステナイト化の場合のマルテンサイト変態の熱膨張曲線である。Fig. 6 は Fig. 5 に用いた試験片につき、その測定後に微小硬度を 100 回測定し、その分散の状況を出し、Fig. 5 の曲線形状と対照比較したものである。このマルテンサイト組織の微小硬度値の分散度は母体オーステナイトの溶解成分濃度の均一度と関係があるものと思われる (5) (6)。

2. 恒温変態におよぼすオーステナイト化温度の影響

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 はそれぞれ各鋼の 950°C-10 min および 1050°C-10 min オーステナイト化の場合の二つの TTT-曲線を示している。まず 3 者を通じての比較として、1050°C-10 min の場合のパーライトノーズの Ps は SUS1 が最も早く SUS3 が最も遅い、これは C 含有量の影響と考えられる。950°C-10 min の場合はオーステナイト中の C 量は硬度値からして、SUS1 が最小で SUS3 が最大と考えられるが、Ps は SUS2 が最も早く SUS1 が中間となつている。これは炭化物溶解が未だ充分でない状態において、SUS1 の 0.42% の Ni の影響が出て来たものと考えられる。Fig. 3 の Ms 点変化において SUS1 の値が SUS2 のそれを下廻っているのもこのためと考えられる。

Fig. 7 TTT-diagrams of steel SUS 1 for the two different austenitizations.

ノーズにおける Pf-Ps については、1050°C, 950°C の場合共に、SUS1 が最も長く SUS3 が最も短い、これはオーステナイト中の C 含有量と関連して、C の拡散の距離に関係しているものと考えられる。

各鋼共オーステナイト化温度の上昇とともに、Ps は遅くなり、Pf-Ps は長くなる、前者の変化は主としてオーステナイト中の C 含有量の変化によるものであり、後者についてはオーステナイト粒度の影響も考えられるが、この際は主としてオーステナイト中の Cr 含有量の変化によるも

のと考えられる。なお参考のために N 量を掲げたが、N はパーライトノーズの潜伏期を大にするといわれている (7)。

Fig. 8 TTT-diagrams of steel SUS 2 for the two different austenitizations.

Fig. 9 TTT-diagrams of steel SUS 3 for the two different austenitizations.

Photo. 2 は各鋼の変態途中の組織である。パーライト変態について特徴的なことは、Photo. 2 (c), (g) の如くに粒界および粒内において炭化物の析出が起ると、それを包むある領域がフェライトになつて変態が進行するようである。変態温度が低下するにつれて、粒界近傍から粒内に向つての析出の進行が遅くなり、さらに粒界にも変態物ができにくくなり 500°C 以下においては変態は起らない。SUS

1 においては Photo.2 (a), (b) の如くに変態物は遊離フェライトとの粒界に優先的に出て来る, そして炭化物の析出

結果から, 異相溶解に伴うオーステナイト化状態の変化に関連して, 成分元素の変態挙動におよぼす影響はつぎの如

Photo.2 Microstructures of steels SUS 1, SUS 2 and SUS 3 isothermally transformed. Curran's reagent. ($\times 360$)

はその粒界に片寄る傾向があるようである⁽⁸⁾.

IV. 総 括

C 0.09, 0.17, 0.26 % をそれぞれ含有する三つの 13Cr ステンレス鋼につき, 相異なるオーステナイト化温度について, Ms, Mf 点および TTT-曲線を求めた. そしてその

くに要約される.

(1) 炭化物の溶解によって Ms 点は降下する, そして Cr 13 % 一定とすると, C 0.1 % の増加は Ms 点を 75°C 降下させる.

(2) TTT-曲線上においては, C の増加は Ps を遅らせ, Pf-Ps を短くし, また Cr の増加は Pf-Ps を長くするものと考えられる.

(8) 作井, 森, 山本: 鉄と鋼, 45 (1959), 117.